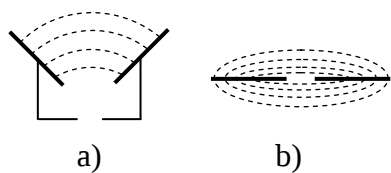


Излъчване на електромагнитни вълни, енергия и импулс на електромагнитна вълна, вектор на Пойнтинг

Излъчване на електромагнитни вълни

Както показавме в предходните два въпроса, съществуването на електромагнитни вълни е следствие от уравненията на Максвел за електромагнитното поле. Следователно, ако в дадена област от пространството се създаде променливо електромагнитно поле, то може да служи за източник на електромагнитни вълни. Такова поле се създава във всеки трептящ кръг. Така, провеждайки експерименти с трептящи кръгове през 1888 г., Х. Херц е получил за първи път електромагнитни вълни.

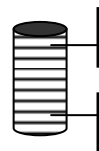


фиг. 1

Излъчвателната способност на един източник на електромагнитни вълни зависи от неговата форма, размери и честота на трептене. За да може да се регистрира излъчването то трябва да има необходимия интензитет (основно на електричното поле). Затова трябва да се увеличи обемът, в който се създава полето. Херц е постигнал това чрез раздалечаване на плочите на кондензатора в трептящия кръг (фиг. 1a) – получил е т.нар. отворен трептящ кръг (фиг. 1b), който впоследствие е наречен вибратор

на Херц. Трептенията в системата се поддържат от източник на ЕДН, включен към кондензатора, а искровата междина (разстоянието между двете плочи на кондензатора) служи за увеличаването на потенциалната разлика между плочите.

За възбуждане на електромагнитни вълни вибраторът на Херц се включва към бобина-индуктор (фиг. 2). Когато напрежението в искровата междина достигне до пробивната си стойност, възниква искра, която затваря веригата. Така възникват свободни затихващи електромагнитни трептения, които пораждат електромагнитни вълни. Оказало се, че дължината на получената вълна е около два пъти по-голяма от дължината на вибратора. Използвайки различни вибратори, Херц е получил електромагнитни вълни с дължина на вълната от 60 cm до 10 m.



фиг. 2

Херц постигнал значително увеличаване на интензитета на получената вълна чрез параболично огледало. Използвайки тези вълни с достатъчно голям интензитет, той е наблюдавал явленията отражение и пречупване на електромагнитни вълни, които се подчинявали на същите закони, както и светлинните вълни.

Получаването на електромагнитни вълни е в основата на съвременните комуникации. Още в края на 19 в. учени от различни страни достигнали до принципа на радиопредаването, изобретен е телеграфът, а с конструирането на електронните лампи през 20-те години на 20 в. е даден мощен тласък в развитието на радиото, а след това и на телевизията.

Енергия и импулс на електромагнитна вълна, вектор на Пойнтинг

Електромагнитните вълни, както и всички други вълни, пренасят енергия. Плътноста на енергията на електричното поле е $w_e = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r E^2}{2}$, а плътността на енергията на магнитното поле е $w_m = \frac{\mu_0 \mu_r H^2}{2}$. Тъй като трептенията на електричния и магнитния вектор на електромагнитната вълна се извършват във фаза, пълната енергия на вълната ще бъде сума от електричната и магнитната ѝ енергия. Следователно в единица обем от пространството, в което се разпространява електромагнитна вълна, ще се съдържа енергия

$$w = w_e + w_m = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r E^2}{2} + \frac{\mu_0 \mu_r H^2}{2}.$$

Обемната плътност на енергията на електромагнитните вълни можем да представим и като използваме зависимостта между амплитудите на електричното и магнитното поле, получена в предходния въпрос:

$$w = \epsilon_0 \epsilon_r E^2 = \mu_0 \mu_r H^2 = \sqrt{\epsilon_0 \mu_0 \epsilon_r \mu_r} EH = \frac{EH}{v},$$

където $v = c/n$ е скоростта на електромагнитните вълни в дадената среда.

Обикновено като енергетична характеристика на електромагнитната вълна се използва плътността на потока на пренасяната енергия:

$$(1) S = EH = vw.$$

За интензитетите на електричното и магнитното поле на електромагнитната вълна е изпълнено $E \perp H$, а двата вектора са перпендикулярни на посоката на разпространение на вълната. Като се има

предвид, че посоката на пренасяне на енергията също е в посока на разпространение на вълната, можем да представим (1) във векторен вид:

$$\underline{S} = \underline{E} \times \underline{H}.$$

Този вектор $\underline{S}$ се нарича вектор на потока на енергията на електромагнитното поле или вектор на Пойнтинг. От (1) се вижда още, че големината на вектора на Пойнтинг е точно интензитета на вълната ($S = vW = I$) и следователно мерната единица е W/m^2 .

Всеки движещ се обект трябва да притежава импулс. Електромагнитната вълна също притежава импулс p , който се оказва, че във вакуум е пропорционален на енергията ѝ W : $p = \frac{W}{c}$. Тя упражнява и налягане върху повърхностите, върху които пада, но това налягане е много малко и е трудно да се измери. Упражняването на налягане от светлината върху твърди тела е установено за първи път от руския физик П. Лебедев през 1900 г.